

DLR–WAT: Ein Instrument zur Untersuchung des optimalen Beanspruchungsniveaus in hochautomatisierten Mensch – Maschine-Systemen

Grippenkoven, Jan¹

Rodd, Justin²

Brandenburger, Niels¹

¹Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.

Lilienthalplatz 7, jan.grippenkoven@dlr.de

²Technische Universität Braunschweig

Universitätsplatz 2, 38106 Braunschweig

Abstract

In diesem Artikel wird das „*DLR - Workload Assessment Tool*“ (DLR–WAT) vorgestellt, ein Fragebogen zur Selbsteinschätzung der Beanspruchung, der gezielter als bestehende Messwerkzeuge wie z.B. der NASA-TLX Abweichungen von einem subjektiven Optimum der Beanspruchung berücksichtigt. Automatisierung und Digitalisierung sind derzeit die bestimmenden Trends im Personen- und Güterverkehr. Ob auf der Straße, der Schiene oder in der Luft, die Rolle des Menschen im Verkehr wandelt sich im Angesicht dieser Entwicklungen rapide. Technische Assistenzen unterstützen den Menschen und hochautomatisierte Systeme übernehmen in einzelnen Bereichen bereits Aufgaben des Menschen wie z.B. die Steuerung und Navigation. Die aktive Rolle des Menschen, zum Beispiel in der Rolle des Fahrers, wandelt sich sukzessive hin zu einer passiveren Rolle, die durch kontinuierliches Überwachen geprägt ist. Generell kann der Mensch durch Automation entlastet und sein Komfort gesteigert werden. Die Anforderung an den Menschen, seine Aufmerksamkeit konsequent aufrecht zu erhalten,

auch wenn er nicht handeln muss, um in unsicheren oder kritischen Situationen kurzfristig in der Lage zu sein, die Steuerung zu übernehmen, stellt allerdings eine Schattenseite des Automationskomforts dar. Unter der Berücksichtigung der zunehmend passiven Rolle des Menschen in hochautomatisierten Verkehrssystemen, gewinnt das Thema der Unterbeanspruchung mit wachsender Automatisierung an Bedeutung. Erhebungsinstrumente zur subjektiven Einschätzung der eigenen Beanspruchung differenzieren bislang jedoch nicht klar zwischen einem Unterforderungs- und einem Überforderungsbereich. Vor diesem Hintergrund wurde der DLR-WAT entwickelt. Der DLR-WAT umfasst insgesamt acht Subskalen. Auf sechs der acht Subskalen (Beanspruchung durch Informationsaufnahme, Beanspruchung durch Wissensabruf, Beanspruchung durch Entscheidungsfindung, motorische und körperliche Beanspruchung, zeitliche Beanspruchung und Anstrengung) kann der Befragte seinen Beanspruchungszustand angeben, ausgehend von seinem persönlichen Optimum, das in der Mitte jeder Subskala verortet ist. Die zwei weiteren Subskalen des DLR-WAT (Frustration, Aufgabenbewältigung) sind eindimensional gestaltet, da ein optimales Frustrationsniveau durch Abwesenheit der Frustration gekennzeichnet ist und es nicht möglich ist, eine Aufgabe weniger als gar nicht zu bewältigen. Die Berücksichtigung des persönlichen Optimums der Beanspruchung im DLR-WAT in den ersten sechs Subskalen ermöglicht im Zuge der Entwicklung hochautomatisierter Verkehrssysteme eine detailliertere Beanspruchungsanalyse als bestehende Fragebögen. Dies eröffnet in der Gestaltung zukünftiger interaktiver Verkehrssysteme die Chance, den schmalen Grat zwischen Überforderung und Unterforderung zielgerichtet zu identifizieren und Aufgaben zwischen Mensch und Automation entsprechend zu verteilen.

Automatisierung in Verkehrssystemen

Automatisierung und Digitalisierung sind bestimmende Trends in allen Verkehrsmodalitäten. Automatisierung kann „als eine von einem System (normalerweise ein Computer) ausgeführte Handlung, die zuvor von einem Menschen durchgeführt wurde“ definiert werden (Parasuraman & Riley, 1997). Das in dieser Definition genannte System muss die Handlung dabei nicht zwingend vollständig übernehmen, eine teilweise Übernahme ist ebenfalls möglich. Die Rolle des Menschen im Zusammenspiel mit der Automation fällt nicht zwingend in Gänze weg, in vielen Fällen ändert sich allerdings

die Zusammensetzung seiner Tätigkeit (Parasuraman, Sheridan & Wickens, 2000).

Aus dem Flugverkehr ist der Autopilot seit langem bekannt und etabliert. Im Bereich des bodengebundenen Verkehrs arbeiten die Automobilindustrie und die Forschung daran, die Vision vollautomatischer Fahrzeuge Realität werden zu lassen. Assistenzsysteme unterstützen im Automobilverkehr bereits heute Fahrer in der Längs- und Querführung ihres Fahrzeugs. In bestimmten Verkehrssituationen fällt dem Menschen lediglich die Aufgabe des Überwachens der Automation zu, um in der Lage zu sein, in Fällen die die Automation nicht abfangen kann, einzugreifen (Bainbridge, 1983).

Im öffentlichen Personenverkehr ist die Nürnberger U-Bahn ein Vorbild für die gelungene Hochautomatisierung auf der Schiene. U-Bahnen verkehren in Teilen des Streckennetzes in Nürnberg ohne Fahrer an Bord und werden aus einer Verkehrsleitzentrale überwacht. Bei überirdischen Bahnen im Nah- und Fernverkehr geht der Trend ebenfalls in Richtung der Automatisierung, die Herausforderungen sind hierbei jedoch ungleich größer, da das überirdische Verkehrssystem im Gegensatz zum geschlossenen U-Bahnsystem flächenmäßig deutlich größer, diversifizierter und offen für äußere Störeinflüsse ist. Zusätzlich wird mit höheren Geschwindigkeiten verkehrt. Betrachtet man die Entwicklung von Zugsicherungssystemen im Kontext der Automation, dann ist festzustellen, dass auch den Operateuren im Eisenbahnverkehr zunehmend Aufgaben durch technische Systeme abgenommen werden. Nachdem in der Anfangszeit der Eisenbahn auf Sicht gefahren wurde, wurden Geschwindigkeiten zunächst punktuell über die *Punktförmige Zugbeeinflussung* (PZB) überwacht, danach kontinuierlich mit der *Linienförmige Zugbeeinflussung* (LZB) und mittlerweile durch das *European Train Control System* (ETCS).

Der Luft- und Eisenbahnverkehr funktioniert schon heute nur durch das etablierte Zusammenwirken einer Trias aus Fahrzeug (bzw. Flugzeug), Verkehrsleitzentralen und Infrastrukturelementen der Leit- und Sicherheitstechnik. In den Bereichen des automobilen Straßenverkehrs und des hochautomatisierten ÖPNV ist zukünftig eine ähnliche Dreiteilungen zu erwarten. Neben den Fahrzeugen werden gegenwärtig vielfältige Möglichkeiten der V-2-X Kommunikation erprobt, deren Infrastruktur potentiell eine wichtige Rolle im hochautomatisierten Straßenverkehr übernehmen wird. Die zunehmende Relevanz von Verkehrsleitzentralen, zum Beispiel für

Aufgaben der Verkehrslenkung und Entstörung, ist auch im Bereich des Straßenverkehrs zu erwarten.

Ob in Fahrzeugen oder Verkehrsleitzentralen, in Bezug auf die Rolle des Menschen kündigt sich ein die Verkehrsbereiche übergreifender Paradigmenwechsel an. Überwachende Tätigkeiten, fernsteuernde Tätigkeiten, Fahrgastinformation oder Entstörungsaufgaben werden mittelfristig an die Stelle bisheriger Aufgaben wie Navigation oder Längs- und Querführung treten. Um in den dann entstehenden Betätigungsfeldern des Menschen im Verkehr die Sicherheit, Effektivität, Effizienz und Nutzerfreundlichkeit zu gewährleisten, ist eine gute Arbeitsplatzgestaltung unerlässlich. Angesichts der Automation wird nicht nur darauf zu achten sein, Operateure nicht zu überlasten, sondern auch darauf sie nicht mit kontinuierlichen visuellen Überwachungstätigkeiten zu unterfordern. Schlussendlich bedeutet dies, Tätigkeiten so zu gestalten, dass der Mensch im Zusammenspiel mit der Automation adäquat beansprucht wird. Was eine „adäquate“ Beanspruchung in hochautomatisierten Verkehrssystemen ist, ist eine zentrale Frage, der sich die Forschung und Entwicklung unter Verwendung geeigneter Instrumente widmen muss.

Belastung, Beanspruchung und menschliche Performanz in hochautomatisierten Verkehrssystemen

Das Konzept der Belastung und Beanspruchung (Hacker & Richter, 1984) ist im Kontext der arbeits- und verkehrspsychologischen Forschung von großer Bedeutung, um die Aufgaben des Menschen in einem soziotechnischen System zu beschreiben und zu bemaßen. Die Fachterminologie Im Englischen ist „stress“ beziehungsweise „taskload“ (Belastung) und „strain“ beziehungsweise „workload“ (Beanspruchung) (Manzey, 1998; Wickens, Hollands, Banbury & Parasuraman, 2013). Besonders der Begriff Workload wird anstelle von Beanspruchung als Fachbegriff auch im Deutschen regelmäßig verwendet. Die Relevanz von Belastung und Beanspruchung im arbeitspsychologischen Kontext spiegelt sich auch in der Definition dieser Begriffe in der DIN EN ISO 10075 „Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung“ wider. In dieser Norm wird psychische Belastung als „die Gesamtheit aller erfassbaren Einflüsse, die von außen auf den Menschen zukommen und diesen psychisch beeinflussen“ beschrieben, während psychische Beanspruchung als „die unmittelbare Auswirkung der psychischen Belastung im Individuum in Abhängigkeit von seinen jeweiligen

individuellen Voraussetzungen“ definiert wird. „Mentale“ Beanspruchung wird von Parasuraman, Sheridan und Wickens (2008) als „Beziehung zwischen den erforderlichen Ressourcen beim Bearbeiten einer Aufgabe und den verfügbaren Ressourcen des Menschen“ definiert. Parasuraman et al. (2008) grenzen Beanspruchung zudem klar von Performanz bzw. Leistungsfähigkeit ab. Yeh & Wickens (1988) beschreiben in diesem Zusammenhang, dass bei Individuen mit gleich hoher Performanz ein unterschiedliches Beanspruchungsniveau vorliegen kann. Umgekehrt muss eine unterschiedliche Beanspruchung nicht automatisch zu einem Unterschied in Performanz führen (Sperandio, 1971).

Die Automatisierung bestimmter Aspekte der Arbeitstätigkeit kann den Menschen entlasten und die Performanz erhöhen (Wickens, Li, Santamaria, Sebok & Sarter, 2010), aber auch negative Auswirkungen haben, wenn der Mensch spontan eingreifen soll und nicht auf der Höhe des Geschehens ist (Bainbridge, 1983; Young, Stanton & Walker, 2006). Insbesondere Tätigkeiten, bei denen Automation zur Folge hat, dass aktive manuelle Tätigkeiten in hohem Maße durch Überwachungsaufgaben ersetzt werden, können sich nachteilig auf die Leistungsfähigkeit des Menschen auswirken (Endsley & Kaber, 1999; im Bahnkontext siehe Brandenburger & Jipp, 2017). In bestimmten Zusammenhängen konnte festgestellt werden, dass eine erhöhte Automation zu Unterbeanspruchung und Monotonie führen kann (Young, Stanton & Walker, 2006). Dunn & Williamson (2012) stellten fest, dass Monotonie im Kontext des Bahnverkehrs zu Leistungseinbußen führen kann und eine leichte Erhöhung der Beanspruchung sich positiv auf die Leistungsfähigkeit auswirken kann. Warm, Matthews und Finomore (2008) fassen zusammen, dass monotone Aufgaben durch ein geringes Stimulationslevel gekennzeichnet sind, wodurch das zentrale Nervensystem den Zustand der Wachsamkeit nicht mehr problemlos aufrechterhalten kann. Dieser Zusammenhang resultiere überdies in einer geringeren Performanz. Warm, Dember und Hancock (1996) definieren in diesem Zusammenhang Vigilanz als „die Fähigkeit von Beobachtern über einen längeren Zeitraum ihren Aufmerksamkeitsfokus beizubehalten und wachsam für Signale zu bleiben“. Wilson und Rajan (1995) sowie de Waard (1996) stellen für unterschiedliche Mensch-Maschine-Systeme fest, dass sowohl Unter- als auch Überbeanspruchung zu einer verminderten Leistungsfähigkeit führen. Yerkes und Dodson (1908) beschrieben

diesen Zusammenhang bereits zu Beginn des 20. Jahrhunderts in dem nach ihnen benannten *Yerkes-Dodson Gesetz*. Ihr Postulat besagt, dass es je nach Tätigkeit einen Punkt *optimaler Aktivierung* gibt, bei dem die Leistungsfähigkeit eines Individuums am höchsten ist. Bei zu geringer oder zu hoher Aktivierung sinkt die Leistungsfähigkeit. Yerkes und Dodson (1908) gehen davon aus, dass ein negativer quadratischer Zusammenhang zwischen Aktivierung und Performanz besteht („umgekehrte U-Form“). Kritisiert wurde dieses Gesetz unter anderem aufgrund seiner mangelnden Falsifizierbarkeit (Hockey, 1984) und der Übersimplifizierung (Hancock & Ganey, 2003). Die Annahme der Existenz eines individuellen Unterschiedes in Bezug auf das optimale Aktivierungsniveau lässt eine recht beliebige Interpretation von Leistungseinbußen in Untersuchungsergebnissen zu. Nichtsdestotrotz ist insbesondere in hochautomatisierten Verkehrssystemen die empirische Untersuchung optimaler Beanspruchungsniveaus zur Maximierung der Leistungsfähigkeit von besonderer Bedeutung. Auch wenn individuelle Unterschiede in Bezug auf die erlebte Beanspruchung existieren, so scheint es dennoch möglich, Korridore in einer Aufgabenkonfiguration zu ermitteln, in denen ein größtmöglicher Anteil von Personen eine Beanspruchung im Bereich ihres persönlichen Optimums empfindet. Eine solche Aufgabenkonfiguration, in der beispielsweise ein als optimal wahrgenommener Anteil der Teilaufgaben automatisiert ist und ein gewisser Anteil weiterhin eigenständig durch den Menschen zu erledigen ist, kann in der Folge hinsichtlich der Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems aus Mensch und Automation beurteilt werden. Vor diesem Hintergrund wurde mit dem DLR-WAT ein neuer Fragebogen zur Erfassung der Beanspruchung erarbeitet, welcher die Möglichkeit bietet, das persönliche Optimum als Referenz des eigenen Urteils mit einzubeziehen.

DLR-WAT: Ein Instrument zur Identifikation optimaler Beanspruchungsniveaus

Der DLR-WAT wurde als Instrument gestaltet, mit dem die menschliche Beanspruchung insbesondere in unterschiedlich stark automatisierten Mensch-Maschine Systemen sowohl im Bereich der Unterbeanspruchung als auch der Überbeanspruchung auf mehreren Teilskalen sensitiv erhoben werden soll. Durch die Einführung eines persönlichen Optimums als Referenz in der Mitte der Skalen soll die Möglichkeit geschaffen werden, unterschiedliche

Aufgabenkonfigurationen miteinander zu vergleichen, um diejenige zu identifizieren, die einer optimalen Beanspruchung am nächsten kommt. So ist es beispielsweise möglich, Vergleiche zwischen graduellen Variationen im Automatisierungsniveau eines technischen Systems im Verkehrskontext anzustellen.

Eine in der internationalen Forschung häufig eingesetzte mehrdimensionale Beanspruchungsmetrik bietet der NASA Task Load Index (NASA-TLX) (Hart & Staveland, 1988). Hart & Staveland, (1988) gehen wie u.a. Rohmert (1984) davon aus, dass sich Beanspruchung aus Belastung, individuellen Eigenschaften, Fähigkeiten und Fertigkeiten zusammensetzt und es mehrere Beanspruchungsfaktoren gibt. In der deutschsprachigen Version des NASA-TLX wird Beanspruchung dementsprechend auf sechs unabhängigen Skalen beurteilt: Geistige Beanspruchung, körperliche Beanspruchung, zeitliche Beanspruchung, Anstrengung, Aufgabenbewältigung und Frustration. In den Skalen des NASA-TLX wird lediglich das Kontinuum von sehr niedriger bis sehr hoher Beanspruchung vorgesehen, ohne die Möglichkeit eines optimalen Beanspruchungsniveaus konkret zu berücksichtigen. Diesem Mangel wird mit dem DLR-WAT als weiterentwickelte Alternative zum NASA-TLX begegnet. Insbesondere mit Blick auf unterschiedlich stark automatisierte Verkehrssysteme wird die Ergänzung von Optima in den Skalen als relevant erachtet.

Die insgesamt acht Skalen des DLR-WAT lehnen sich an die Skalen des validierten NASA-TLX an. Da in modernen digitalen Arbeitskontexten die Relevanz mentaler Beanspruchung im Verhältnis zu körperlicher Beanspruchung zunimmt, wird im DLR-WAT das erste Item des NASA-TLX, *geistige Beanspruchung*, gemäß der Schritte der menschlichen Informationsverarbeitung (vgl. u.a. Wickens & Hollands, 1999) in die drei Items *Informationsaufnahme*, *Wissensabruf* und *Entscheidungsfindung* unterteilt. Dies ermöglicht eine differenziertere Betrachtung der geistigen Beanspruchung und eine Unterscheidung zwischen den verschiedenen Teilschritten menschlicher Informationsverarbeitung. Es ist vorgesehen, dass der Durchschnitt dieser drei Skalen als Gesamtwert der *geistigen* Beanspruchung genutzt werden kann. Neben den drei Items der geistigen Beanspruchung umfasst der DLR-WAT fünf weitere Items: *Motorische Beanspruchung*, *körperliche Beanspruchung*, *zeitliche Beanspruchung*, *Anstrengung*, *Frustration* und *Aufgabenbewältigung*. Die den Skalen des DLR-WAT zugrundeliegende Metrik umfasst einen Wertebereich von 0 bis

200, wobei der Wert 100 das subjektive Optimum der Beanspruchung kennzeichnet. Der Wert 0 steht für die größtmögliche Unterbeanspruchung und der Wert 200 am anderen Ende der Skala für die größtmögliche Überbeanspruchung. Somit wird die Abweichung vom subjektiven Optimum im DLR-WAT als Abweichung von dem Wert 100 in einem Wertebereich von 0 bis 200 operationalisiert. Der gesamte Wertebereich ist als Kontinuum ausgelegt, sodass Versuchsteilnehmer Ihre Einschätzung der eigenen Beanspruchung analog zum NASA-TLX an jeder Stelle der kontinuierlichen Skala abgeben können. Bei den Skalen Frustration und Aufgabenbewältigung wurde aus plausibilitätsgründen keine zweiseitige Skalierung gewählt, da ein optimales Frustrationsniveau durch Abwesenheit der Frustration gekennzeichnet ist und es nicht möglich ist eine Aufgabe weniger als gar nicht zu bewältigen. Wie aus Anhang 1 hervorgeht, besteht der Wertebereich der Metrik auf der Skala *Frustration* lediglich aus Werten zwischen 100 und 200, da die Abwesenheit von Frustration als optimaler subjektiver Zustand angesehen werden kann und somit den Wert 100 zugeordnet bekommt, um Kongruenz in der Bedeutung der Werte über alle acht Skalen hinweg zu gewährleisten. Aus demselben Grund enthält der Wertebereich der letzten Skala *Aufgabenbewältigung* lediglich Werte von 0 bis 100, da eine maximale Aufgabenbewältigung als optimaler Zustand angesehen wird und somit wieder durch den Wert 100 operationalisiert werden musste. Es kann also festgehalten werden, dass über alle Skalen hinweg der Wert 100 das Optimum operationalisiert und Unter- bzw. Überbeanspruchung als negative oder positive Abweichung von diesem Wert detektiert werden können. Alle Skalen lassen sich äquivalent zum NASA-TLX zu einer Gesamtbeanspruchung zusammenrechnen.

Der DLR-WAT wurde vor allem für Aufgaben und Tätigkeiten mit möglichen Unterbeanspruchungen und Überbeanspruchungen konzipiert, wie man sie beispielsweise in unterschiedlich stark automatisierten Verkehrskontexten vorfindet. Der NASA-TLX unterscheidet lediglich zwischen geringer und hoher Beanspruchung. Der DLR-WAT bietet dem Urteilenden hingegen eine explizite Differenzierung seines Beanspruchungsniveaus in einen Unter- und einen Überbeanspruchungsbereich in dessen Mitte das persönliche Optimum liegt. Des Weiteren differenziert der DLR-WAT unterschiedliche Verarbeitungsstufen im Bereich der mentalen Beanspruchung und trägt so maßgeblich zum besseren Verständnis der Ursachen für detektierte Fehlbeanspruchungen bei.

Zusammenfassung und Ausblick

Unabhängig von der Verkehrsmodalität stellt die Hochautomatisierung gegenwärtig ein zentrales Ziel des gesamten Verkehrssektors dar. Die Automation soll dabei in zunehmendem Umfang Tätigkeiten vom Menschen übernehmen. Da der Mensch dennoch auch weiterhin ins Verkehrssystem eingebunden bleiben wird, beispielsweise als Überwacher oder Entstörer, ist es wichtig ihn weder zu unterfordern noch zu überfordern, um seine Leistungsfähigkeit hinsichtlich seiner verbleibenden Tätigkeiten nicht einzuschränken. Der DLR-WAT stellt eine Möglichkeit dar, um in unterschiedlich stark automatisierten Mensch-Maschine-Systemen die menschliche Beanspruchung zu ermitteln. Bestehende Instrumente zur Messung der Beanspruchung eignen sich nur eingeschränkt dafür zu ermitteln, wie eine Tätigkeit im Verhältnis zur einem als optimal wahrgenommenen Beanspruchungsniveau zu beurteilen ist. Der DLR-WAT sieht im Zentrum seiner Skalen ein Optimum der Beanspruchung vor, um eine deutlichere Aussage über das optimale Beanspruchungsniveau sowie Über- und Unterbeanspruchungen durch eine Tätigkeit treffen zu können. Durch die Berücksichtigung eines optimalen Beanspruchungsniveaus können verschiedene Konfigurationen der Verteilung von Aufgaben zwischen Mensch und Automation miteinander Verglichen werden mit dem Ziel, die Konfiguration zu ermitteln die hinsichtlich der Beanspruchung des Menschen ideal ist. Dementsprechend stellt der DLR-WAT eine Weiterentwicklung bestehender Fragebogen, wie dem verbreiteten NASA-TLX dar (Hart & Staveland, 1988) dar, um die menschliche Beanspruchung auf effiziente Weise in modernen, durch Digitalisierung und Automatisierung geprägten Tätigkeitsfeldern ermitteln zu können. Das zentrale Ziel der weiterführenden Arbeiten zum DLR-WAT besteht in seinem Einsatz als zusätzliches Maß in wissenschaftlichen Untersuchungen, um eine Beurteilung des Instruments hinsichtlich der zentralen Gütekriterien der Reliabilität und Validität vorzunehmen. Zudem wird eine englischsprachige Übersetzung erstellt. Jenseits der Identifikation eines als optimal wahrgenommenen Beanspruchungsniveaus sollte weiterhin ein besonderes Augenmerk auf den Zusammenhang zwischen Beanspruchungsniveau und der objektiven Performanz des Gesamtsystems aus Mensch und Automation gerichtet werden.

Die unter Anhang 1 beiliegende Version der DLR-WAT steht Interessierten zur freien Nutzung zur Verfügung.

Literatur

- Bainbridge, L. (1983). Ironies of automation. *Automatica*, 19(6), 775-779. doi:10.1016/0005-1098(83)90046-8
- Brandenburger, N., & Jipp, M. (2017). Effects of expertise for automatic train operations. *Cognition, Technology & Work*, 1(6), 59. doi:10.1007/s10111-017-0434-2
- de Waard, D. (1996). *The measurement of drivers' mental workload*. University of Groningen, Groningen, NL.
- DIN EN ISO 10075-1:2015-12, Ergonomische Grundlagen bezüglich psychischer Arbeitsbelastung – Teil 1: Allgemeine Konzepte und Begriffe (ISO/DIS 10075-1:2015)
- Dunn, N., & Williamson, A. (2012). Driving monotonous routes in a train simulator: the effect of task demand on driving performance and subjective experience. *Ergonomics*, 55(9), 997-1008. doi:10.1080/00140139.2012.691994
- Endsley, M. R., & Kaber, D. B. (1999). Level of automation effects on performance, situation awareness and workload in a dynamic control task. *Ergonomics*, 42(3), 462-492. doi:10.1080/001401399185595
- Hancock, P. A., & Ganey, H. C. (2003). From the inverted-U to the extended-U: The evolution of a law of psychology. *Journal of Human Performance in Extreme Environments*, 7(1), 5-14. doi:10.7771/2327-2937.1023
- Hacker, W. & Richter, P. (1984): Psychische Fehlbeanspruchung. Psychische Ermüdung, Monotonie, Sättigung, Stress. Berlin, Heidelberg, Springer, 2. Auflage, 1984.
- Hart, S. G., & Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of Empirical and Theoretical Research. *Advances in Psychology*, 52, 139–183. doi:10.1016/S0166-4115(08)62386-9
- Hockey, R. (1984). Varieties of attentional state: The effects of environment. *Varieties of attention*, 449-483.
- Manzey, D. (1998). Psychophysiologie mentaler Beanspruchung. In F. Rösler (Ed.), *Enzyklopädie der Psychologie: C/1/5*.

- Ergebnisse und Anwendungen der Psychophysiologie* (S. 799–864). Göttingen: Hogrefe.
- Parasuraman, R., & Riley, V. (1997). Humans and Automation: Use, Misuse, Disuse, Abuse. *Human Factors*, 39(2), 230–253. doi:10.1518/001872097778543886
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2000). A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics-Part A: Systems and Humans*, 30(3), 286–297. doi:10.1109/3468.844354
- Parasuraman, R., Sheridan, T. B., & Wickens, C. D. (2008). Situation Awareness, Mental Workload, and Trust in Automation: Viable, Empirically Supported Cognitive Engineering Constructs. *Journal of Cognitive Engineering and Decision Making*, 2(2), 140–160. doi:10.1518/155534308X284417
- Sperandio, J. C. (1971). Variation of Operator's Strategies and Regulating Effects on Workload. *Ergonomics*, 14(5), 571–577. doi:10.1080/00140137108931277
- Warm, J. S., Dember, W. N., & Hancock, P. A. (1996). Vigilance and workload in automated systems. *Automation and human performance: Theory and applications*, 183–200.
- Warm, J. S., Matthews, G., & Finomore, V. S. (2008). Vigilance, Workload, and Stress. In P. A. Hancock & J. L. Szalma (Eds.), *Performance under Stress* (S. 115–141). Aldershot: Ashgate Publishing Limited.
- Wickens, C. D., & Hollands, J. G. (1999). *Engineering Psychology and Human Performance* (Third Edition Aug.). Upper Saddle River, New Jersey: Prentice Hall.
- Wickens, C. D., Hollands, J. G., Banbury, S., & Parasuraman, R. (2013). *Engineering psychology and human performance* (4th ed.). Boston: Pearson.
- Wickens, C. D., Li, H., Santamaria, A., Sebok, A., & Sarter, N. B. (2010). Stages and levels of automation: An integrated meta-analysis. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, 54(4), 389–393. doi:10.1177/154193121005400425
- Wilson, J. R., & Rajan, J. A. (1995). Human-machine interfaces for systems control. In J. R. Wilson and E. N. Corlett (Eds.), *Evaluation of Human Work: a practical ergonomics methodology*. (S. 357–405). London: Taylor and Francis.

- Yeh, Y. Y., & Wickens, C. D. (1988). Dissociation of Performance and Subjective Measures of Workload. *Human Factors*, 30(1), 111–120. doi:10.1177/001872088803000110
- Yerkes, R. M., & Dodson, J. D. (1908). The relation of strength of stimulus to rapidity of habit-formation. *Journal of comparative neurology and psychology*, 18(5), 459–482. doi:10.1002/cne.920180503
- Young, M. S., Stanton, N. A., & Walker, G. H. (2006). In loco intellegentia: human factors for the future European train driver. *International journal of industrial and systems engineering*, 1(4), 485-501.

Anhang 1

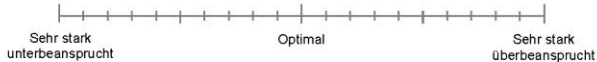
Teilnehmer: _____

Workload Assessment Technique (DLR- WAT)

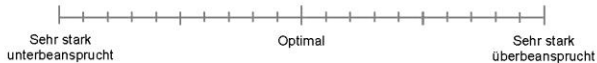
Datum: _____

Bitte beurteilen Sie Ihre Beanspruchung infolge der aktuellen Aufgabe anhand der folgenden Kriterien. Die jeweilige Mitte der Dimensionen stellt eine für Sie persönlich optimale Beanspruchung dar. Sie können Ihre Markierung überall auf dem horizontalen Strich der Skala vornehmen, benutzen Sie dabei die Teilstriche als Orientierung.

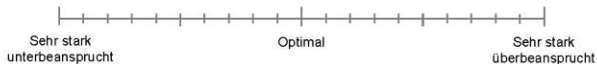
Informationsaufnahme: Wie sehr waren Sie während der Gesamtaufgabe durch Informationssuche- und Aufnahme beansprucht? (Lag die Beanspruchung in Bezug auf die Informationsaufnahme für Sie im Bereich der Unterbeanspruchung, in einem optimalen Bereich oder im Bereich der Überbeanspruchung?)



Wissensabruf: Wie sehr wurden Sie durch den Abruf von relevantem Wissen während der Bearbeitung der Gesamtaufgabe beansprucht? (Lag die Beanspruchung in Bezug auf den Wissensabruf für Sie im Bereich der Unterbeanspruchung, in einem optimalen Bereich oder im Bereich der Überbeanspruchung?)



Entscheidungsfindung: Wie sehr wurden Sie durch Entscheidungsfindung und Handlungsauswahl während der Gesamtaufgabe beansprucht? (Lag die Beanspruchung durch Entscheidungsfindung und Handlungsauswahl für Sie im Bereich der Unterbeanspruchung, in einem optimalen Bereich oder im Bereich der Überbeanspruchung?)



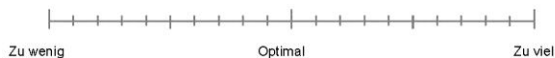
Motorische und körperliche Beanspruchung: Wie sehr waren Sie durch die Gesamtaufgabe motorisch und körperlich beansprucht? (Lag die motorische und körperliche Beanspruchung für Sie im Bereich der Unterbeanspruchung, in einem optimalen Bereich oder im Bereich der Überbeanspruchung?)



Zeitliche Beanspruchung: Wie sehr haben Sie sich durch die Gesamtaufgabe unter Zeitdruck gefühlt? (Lag die zeitliche Beanspruchung für Sie im Bereich der Unterbeanspruchung, in einem optimalen Bereich oder im Bereich der Überbeanspruchung?)



Anstrengung: Wie sehr mussten Sie sich anstrengen (geistig und körperlich) um Ihre Leistung in der Gesamtaufgabe zu erbringen? (Haben Sie die Anstrengung, die Sie erbringen mussten, als zu wenig, optimal oder zu viel empfunden?)



Bitte beurteilen Sie im Folgenden sowohl Ihre Frustration als auch Ihre Aufgabenbewältigung während der aktuellen Aufgabe. Abweichungen von Ihrem Optimum sind bei den folgenden Skalen nur in eine Richtung möglich.

Frustration: Wie frustriert fühlen Sie sich während der Bearbeitung der Gesamtaufgabe? (Geben Sie das Ausmaß Ihrer Frustration auf der Skala von „nicht frustriert“ bis „sehr stark frustriert“ an.)



Aufgabenbewältigung: Wie beurteilen Sie Ihre Leistung in der Bewältigung der Gesamtaufgabe? (Geben Sie Ihre Leistung auf der Skala von „sehr schlecht“ bis „sehr gut“ an.)

